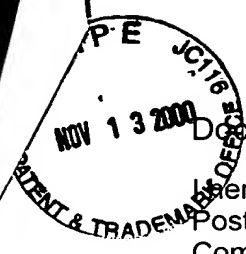


0300

0300

0500  
#5



Docket No.: GR 99 P 4724 US

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service as First Class Mail in an envelope addressed to the Assistant Commissioner for Patents, Washington, D.C. 20231, on the date indicated below.

By: Martin Noll Date: Nov. 7, 2000

#5  
priority  
Lieber  
4901

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Inventor : Martin Schrems et al.  
Applic. No. : 09/677,545  
Filed : October 2, 2000  
Title : Trench Capacitor and Method for Fabricating It

**CLAIM FOR PRIORITY**

Hon. Commissioner of Patents and Trademarks,  
Washington, D.C. 20231

Sir:

Claim is hereby made for a right of priority under Title 35, U.S. Code, Section 119, based upon the German Patent Application 199 47 053.7, filed September 30, 1999.

A certified copy of the above-mentioned foreign patent application is being submitted herewith.

Respectfully submitted,

Martin Noll  
For Applicants

MARKUS NOLFF  
REG. NO. 37,006

Date: November 7, 2000

Lerner and Greenberg, P.A.  
Post Office Box 2480  
Hollywood, FL 33022-2480  
Tel: (954) 925-1100  
Fax: (954) 925-1101

/bmb

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 199 47 053.7

**Anmeldetag:** 30. September 1999

**Anmelder/Inhaber:** Infineon Technologies AG, München/DE

**Bezeichnung:** Grabenkondensator zur Ladungsspeicherung und  
Verfahren zu seiner Herstellung

**IPC:** H 01 L 27/108

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 23. Oktober 2000  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Wehner

## Beschreibung

Grabenkondensator zur Ladungsspeicherung und Verfahren zu seiner Herstellung

5

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Grabenkondensator und ein Verfahren zu seiner Herstellung.

10

Integrierte Schaltungen (ICs) oder Chips enthalten Kondensatoren zum Zwecke der Ladungsspeicherung, wie zum Beispiel ein dynamischer Schreib-/Lesespeicher mit wahlfreiem Zugriff (DRAM). Der Ladungszustand in dem Kondensator repräsentiert dabei ein Datenbit.

15

Zur Erhaltung beziehungsweise Steigerung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit ist es notwendig, die Kosten, die zur Realisierung einer bestimmten elektronischen Funktion aufzuwenden sind, ständig zu senken und somit die Produktivität kontinuierlich zu steigern. Die stetige Produktivitätssteigerung wird durch fortschreitende Strukturverkleinerung erreicht. Dazu ist es erforderlich eine immer größere Anzahl von Funktionen auf derselben Chipfläche zu realisieren. Damit einher geht eine kontinuierliche Verkleinerung der Einzel-funktionen auf dem Chip, so daß auch die zur Ladungsspeicherung verwendeten Kondensatoren einer stetigen Reduzierung ihrer Abmessungen unterliegen.

20

25

Die fortschreitende Strukturverkleinerung der Kondensatoren bringt es jedoch mit sich, daß die Kapazität der Kondensatoren abnimmt. Eine Reihe von Anwendungen, wie zum Beispiel DRAM-Speicher, benötigen eine Mindestspeicherkapazität der Speicherkondensatoren. Daher ist es erforderlich, die Speicherkapazität der Speicherkondensatoren trotz reduzierter Strukturmaße zu erhalten oder sogar zu steigern. Wird, wie heute allgemein üblich, Siliziumoxid als Kondensator-Dielektrikum verwendet, so müßte die Schichtdicke des Speicher-dielektrikums bei zukünftigen Technologien auf wenige

30

35

Atomlagen reduziert werden. Es ist jedoch sehr schwierig, derartig dünne Siliziumoxidschichten mit ausreichender Genauigkeit und reproduzierbar herzustellen, denn die Schwankung der Schichtdicke um eine Atomlage bedeutet eine Schwankung um  
5 mehr als 10 %. Darüberhinaus ist es sehr schwierig, die Leckströme zwischen zwei Kondensatorelektroden, die durch ein wenige Atomlagen dickes Speicherdielektrikum getrennt sind, ausreichend zu unterdrücken, da durch den Effekt des quantenmechanischen Tunnelns die Ladungsträger, die durch das dünne  
10 Speicherdielektrikum erzeugte Potentialbarriere durchtunneln können.

Aus dem Stand der Technik sind bereits Kondensatoren bekannt, bei denen die Speicherkapazität mit Materialien wie Tantaloxid ( $\text{TaO}_2$ ) mit einem  $\epsilon_r = 20$ , sowie Barium-Strontium-Titanat (BST,  $(\text{Ba}, \text{Sr}) \text{TiO}_3$ ) mit einem  $\epsilon_r$  bis 1000 oder Blei-Zirkonat-Titanat (PZT,  $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti}) \text{O}_3$ ) erhöht ist. Allerdings sind für die Verwendung von BST-, PZT- oder SBT-Schichten komplizierte und aufwendige Abscheideverfahren, sowie schwierig zu prozessierende Barrierenschichten aus Platin (Pt), Ruthenium (Ru) oder Rutheniumoxid ( $\text{RuO}_2$ ) notwendig.  
20

Die Vergrößerung der Dielektrizitätskonstante  $\epsilon_r$  durch die Verwendung von  $\text{TaO}_2$  ( $\epsilon_r = 20$ ), ist im Vergleich zu NO oder  
25 ONO-Schichten, die bereits eine Dielektrizitätskonstante von  $\epsilon_r = 6$  bis 8 aufweisen, relativ gering. Bei der Verwendung von BST, PZT oder SBT liegt die Dielektrizitätskonstante zwar wesentlich darüber, allerdings wird die Kapazität der Kondensatoren durch die notwendigen Barriereschichten zu Silizium- und Polysiliziumschichten, die als Elektroden dienen, be-  
30 schränkt.

Bei BST, PZT und SBT hat sich herausgestellt, daß diese Materialien zu den chemisch nur schwer oder nicht ätzbaren Materialien gehören, bei denen der Ätzabtrag, auch bei der Verwendung reaktiver Gase, überwiegend oder fast ausschließlich auf dem physikalischen Anteil der Ätzung beruht. Wegen der  
35

geringen oder fehlenden chemischen Komponente der Ätzung, liegt der Ätzabtrag der zu strukturierenden Schicht in derselben Größenordnung, wie der Ätzabtrag der Maske beziehungsweise der Unterlage (Ätzstopp). Daher ist die Ätzselektivität zur Ätzmaske beziehungsweise zur Unterlage im allgemeinen klein, was zur Folge hat, daß durch die Erosion von Masken mit geneigten Flanken und die unvermeidliche Facettenbildung (Abschrägung, Tapierung) auf den Masken nur eine geringe Maßhaltigkeit der Strukturierung gewährleistet werden kann. Die Facettenbildung schränkt somit die kleinsten bei der Strukturierung erzielbaren Strukturgrößen, sowie die erzielbare Steilheit der Profilflanken bei den zu strukturierenden Schichten ein.

Bedingt durch eine mangelnde thermische Stabilität können BST-Schichten darüberhinaus nicht für Prozesse verwendet werden, die Hochtemperaturschritte nach der Bildung der BST-Schicht vorsehen, wie dies zum Beispiel bei der Herstellung von DRAM-Speichern mit Deep-Trench-Kondensatoren der Fall ist.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht daher darin, einen Grabenkondensator zu schaffen, der eine hohe Speicherkapazität im Verhältnis zu seinen geometrischen Abmessungen aufweist und eine ausreichende Temperaturstabilität für Prozessschritte aufweist, die nach seiner Bildung durchgeführt werden.

Erfindungsgemäß wird dieser Aufgabe durch den in Anspruch 1 angegebenen Grabenkondensator gelöst. Weiterhin wird die gestellte Aufgabe durch das in Anspruch 8 angegebene Verfahren gelöst.

Bevorzugte Weiterbildungen sind Gegenstand der jeweiligen Unteransprüche.

Die der vorliegenden Erfindung zugrundeliegende Idee besteht in der Verwendung von Wolframoxid (WOx) als Kondensatordielektrikum. Da Wolframoxid Dielektrizitätskonstanten  $\epsilon_r$  größer als 50 und auch größer als 300 aufweist, wird die Kapazität des Grabenkondensators unter Beibehaltung der geometrischen Abmessungen um annähernd 2 Größenordnungen (Faktor 100) gesteigert, wenn Wolframoxid anstelle von Siliziumoxid verwendet wird. Der erfindungsgemäße Grabenkondensator besitzt darüberhinaus den Vorteil, daß die in der Halbleitertechnik eingesetzten Anlagen ebenfalls für die Erzeugung von Wolframoxidschichten eingesetzt werden können. Speziell angepasste und damit teure Anlagen, wie sie für die Herstellung von BST, PZT oder SBT-Schichten erforderlich sind, müssen nicht verwendet werden. Das zur Erzeugung von Wolframoxidschichten eingesetzte Wolfram diffundiert nur sehr wenig in Silizium, so daß sich bei dem erfindungsgemäßen Grabenkondensator ein geringeres Konterminationsrisiko ergibt. Die Anwendung von Wolframoxid als Kondensatordielektrikum ist jedoch nicht auf die Siliziumtechnologie beschränkt, sondern kann auch in Zusammenhang mit anderen Halbleitern wie beispielsweise Galliumarsenid (GaAs) verwendet werden. Auch außerhalb der Halbleitertechnologie kann Wolframoxid als Kondensatordielektrikum eingesetzt werden, wie zum Beispiel in diskreten Bauelementen für die Niederspannungs- und Hochspannungstechnik. Weiterhin besitzt Wolframoxid eine ausgesprochen gute Temperaturstabilität bis Temperaturen über 1100° C. Dadurch kann Wolframoxid in Speicherzellen mit einem Grabenkondensator als Speicherdielektrikum verwendet werden, bei denen ein Transistor nach der Herstellung des Grabenkondensators gebildet wird, denn die Prozessierung eines Transistors erfordert zum Beispiel Temperaturschritte zum ausheilen von Source- und Drain-Gebieten, die über 1000° C liegen.

Die fortschreitende Strukturverkleinerung hat zudem zur Folge, daß der Schichtwiderstand von Kondensatorelektroden, bedingt durch die abnehmende Schichtdicke, stetig zunimmt. Daher besteht in einer vorteilhaften Ausführung zumindest eine

der Kondensatorelektroden aus Wolfram oder einem wolframhaltigen Material. Dadurch wird der Widerstand der Kondensatorelektroden herabgesetzt und die Zeit, die zum Laden und Entladen des Grabenkondensators notwendig ist, in vorteilhafterweise verkürzt.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführung der Erfindung besteht das wolframhaltige Material aus Wolframsilizid, Wolframnitrid oder aus reinem Wolfram.

10

In einer weiteren vorteilhaften Ausführung der Erfindung besitzt die dielektrische Schicht, die das Kondensatordielektrikum bildet, eine Dielektrizitätskonstante  $\epsilon_r > 50$ .

15

In einer weiteren vorteilhaften Ausführung der Erfindung ist eine Barrierschicht aus Siliziumoxid, Siliziumnitrid, Oxinitrid, Wolframnitrid, Titannitrid oder Tantalnitrid gebildet, die sich zwischen der Wolframoxidschicht, die das Kondensatordielektrikum bildet, und der vergrabenen Platte des Kondensators, die aus dotiertem Silizium besteht, befindet.

20

In einer weiteren vorteilhaften Ausführung der Erfindung befindet sich in dem Graben zusätzlich ein vertikaler Transistor, der als Auswahltransistor für die Speicherzelle dient.

25

In einer vorteilhaften Ausprägung des Herstellungsverfahrens wird die dielektrische Schicht durch Abscheiden einer wolframhaltigen Schicht gebildet, die anschließend in sauerstoffhaltiger Atmosphäre thermisch oxidiert wird.

30

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Oxidation der wolframhaltigen Schicht bei 200° bis 600° C in Sauerstoff-, Wasser-, N<sub>2</sub>O und/oder NO-haltiger Atmosphäre durchgeführt.

35

Eine weitere vorteilhafte Ausprägung des Herstellungsverfahrens bildet die dielektrische Schicht durch reaktives Auf-

stäuben (reaktives Sputtern) von Wolfram in sauerstoffhaltiger Atmosphäre. Dabei wird Wolfram zu Wolframoxid umgewandelt, bevor die dielektrische Schicht gebildet wird.

- 5 Eine weitere vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens führt eine Wärmebehandlung der dielektrischen Schicht 2 bei Temperaturen zwischen 550° bis 1100° C durch, so daß die dielektrische Schicht, die aus Wolframoxid besteht, eine Dielektrizitätskonstante  $\epsilon_r > 50$  herausbildet.

- 10 In einem weiteren vorteilhaften Herstellungsverfahren wird das wolframhaltige Material, aus dem die leitende Grabenfüllung besteht oder eine wolframhaltige Schicht gebildet ist, mit einem CVD-Verfahren hergestellt. Darüberhinaus kann es sich bei dem CVD-Verfahren um eine selektive CVD-Abscheidung handeln, bei der Wolfram selektiv gegenüber Siliziumoxid und Siliziumnitrid auf Silizium abgeschieden wird. Die selektive CVD-Abscheidung kann zum Beispiel mit Wolframhexafluorid (WF<sub>6</sub>) als Ausgangsmaterial bei 200° bis 600° C durchgeführt werden.

Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und nachfolgend näher erläutert.

25 In den Figuren zeigen:

- Figur 1 ein Ausführungsbeispiel eines Grabenkondensators gemäß der vorliegenden Erfindung, entsprechend einer ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens;

- Figur 2 ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Grabenkondensators gemäß der vorliegenden Erfindung, entsprechend einer zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens;



Figur 3

ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Grabenkondensators gemäß der vorliegenden Erfindung, entsprechend einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens;

5

Figur 3a

ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Grabenkondensators gemäß der vorliegenden Erfindung, entsprechend einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens;

10

Figur 4

ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Grabenkondensators gemäß der vorliegenden Erfindung, entsprechend einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens;

15

Figur 5

eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines Grabenkondensators nach einer der Figuren 1 bis 4;

20    Figur 6

eine weitere Ausführungsform eines Grabenkondensators gemäß der vorliegenden Erfindung zur Herstellung eines Grabenkondensators nach Figur 1 oder 4;

25    Figur 7

eine weitere Ausführungsform eines Grabenkondensators gemäß der vorliegenden Erfindung zur Herstellung eines Grabenkondensators nach Figur 2;

30    Figur 8

eine weitere Ausführungsform eines Grabenkondensators gemäß der vorliegenden Erfindung zur Herstellung eines Grabenkondensators nach Figur 3.

35    Figur 9

eine weitere Ausführungsform eines Grabenkondensators gemäß der vorliegenden Erfindung zur

### Herstellung eines Grabenkondensators nach Figur 3.

5 In den Figuren bezeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche oder funktionsgleiche Elemente.

10 Mit Bezug auf Figur 1 ist eine erste Ausführungsform der vorliegenden Erfindung gezeigt. Die dargestellte Speicherzelle 100 besteht aus einem Grabenkondensator 160 und einem Transistor 110. Der Grabenkondensator 160 wird in einem Substrat 101 gebildet. In dem Substrat 101 ist eine vergrabene Wanne 170 eingebracht, die zum Beispiel aus Dotierstoff besteht. Der Grabenkondensator 160 weist einen Graben 108 mit einem  
15 oberen Bereich 109 und einem unteren Bereich 111 auf. In dem oberen Bereich 109 des Grabens 108 befindet sich ein Isolationskragen 168. Der untere Bereich des Grabens durchdringt die vergrabene Wanne 170 zumindest teilweise. Um den unteren Bereich 111 des Grabens 108 ist eine vergrabene Platte 165 angeordnet, welche die äußere Kondensatorelektrode bildet. Die  
20 vergrabenen Platten 165 der benachbarten Speicherzellen werden durch die vergrabene Wanne 170 elektrisch miteinander verbunden.

25 Der untere Bereich 111 des Grabens 108 ist mit einer dielektrischen Schicht 164 verkleidet, welche das Speicherdielektrikum des Grabenkondensators 160 bildet. Die dielektrische Schicht 164 besteht in der vorliegenden Erfindung aus Wolframoxid.

30

Der Graben 108 ist mit einer leitenden Grabenfüllung 161 aufgefüllt, welche die innere Kondensatorelektrode des Grabenkondensators 164 bildet.

35 Der Transistor 110 besteht aus einem Source-Gebiet 114 und einem Drain-Gebiet 113, welches mit einem randlosen Kontakt 183 verbunden ist. Weiterhin besteht der Transistor 110 aus

einem Kanal 117, der durch ein Gate 112 gesteuert wird. Das Gate 112 ist mit einer Wortleitung 120 verbunden. Der randlose Kontakt 183 ist mit einer Bitleitung 185 verbunden, die oberhalb einer dielektrischen Schicht 189 verläuft.

5 Oberhalb der leitenden Grabenfüllung 161 befindet sich eine leitende vergrabene Brücke 162, die mit Hilfe eines vergrabenen Kontaktes 250 mit dem Source-Gebiet 114 des Transistors 110 verbunden ist.

10 Oberhalb einer Grabenisolierung 180 verläuft in dieser Variante eine passierende Wortleitung 120' (Passing Word Line), die durch die Grabenisolierung 180 von der Grabenfüllung 161 isoliert wird.

15 In Figur 2 ist eine weitere Ausführung des erfindungsgemäßen Grabenkondensators 160 gezeigt, die sich von der in Figur 1 dargestellten Variante dadurch unterscheidet, daß die dielektrische Schicht 164 nicht auf den unteren Bereich 111 des Grabens 108 beschränkt ist, sondern die dielektrische Schicht 20 164 sich zusätzlich in dem oberen Bereich 109 des Grabens 108 auf dem Isolationskragen 168 befindet.

25 In Figur 3 ist eine weitere Ausführung des erfindungsgemäßen Grabenkondensators dargestellt. Die in Figur 3 dargestellte Variante des Grabenkondensators 160 unterscheidet sich von der in Figur 2 dargestellten Variante durch eine zusätzliche Barrierenschicht 167, die sich in dem Graben 108 zwischen der dielektrischen Schicht 164 und der vergrabenen Platte 165 beziehungsweise zwischen der dielektrischen Schicht 164 und dem 30 Isolationskragen 168 befindet.

In Figur 3a ist eine Variante des Grabenkondensators 160 aus in Figur 3 dargestellt. Figur 3a unterscheidet sich von Figur 35 3 durch einen Oxidbereich 167', der für den Fall einer leitenden Barrierenschicht 167 zur Isolation zwischen Leitender Grabenfüllung 161 und Barrierenschicht 167 zwischen dem Iso-

lationskragen 168, der dielektrischen Schicht 164, der Barrierenschicht 167 und der leitenden vergrabenen Brücke 162 angeordnet ist.

- 5 In Figur 4 ist eine weitere Variante des erfindungsgemäßen Grabenkondensators 160 gezeigt, die sich von der in Figur 1 gezeigten Variante dadurch unterscheidet, daß in dem Graben 108 oberhalb des Isolationskragens 168 ein vertikaler Transistor 220 angeordnet ist.

10

Mit Bezug auf Figur 5 wird ein Substrat 101 zur Herstellung des erfindungsgemäßen Grabenkondensators 160 bereitgestellt. Bei der vorliegenden Variante besteht das Substrat 101 aus Silizium und ist leicht mit p-Typ Dotierstoffen dotiert, wie  
15 zum Beispiel Bor. In das Substrat 101 wird in geeigneter Tiefe eine n-dotierte vergrabene Wanne 170 gebildet. Zur Dotierung der vergrabenen Wanne 170 kann Phosphor oder Arsen als Dotierstoff verwendet werden. Die vergrabene Wanne 170 kann zum Beispiel durch Implantation erzeugt werden. Sie dient zur  
20 Isolation der p-Wanne von dem Substrat 101 und bildet zusätzlich eine leitende Verbindung zwischen den vergrabenen Platten 165 der benachbarten Grabenkondensatoren. Alternativ kann die vergrabene Wanne 170 durch epitaktisch aufgewachsene, dotierte Siliziumschichten oder durch eine Kombination von Kristallwachstum (Epitaxie) und Implantation gebildet werden.  
25 Diese Technik ist in dem US-Patent 5,250,829 von Bronner et al. beschrieben.

- Ein Schichtstapel wird auf der Oberfläche des Substrats 101  
30 gebildet und umfaßt beispielsweise eine Unterbau-Oxidschicht 104 und eine Unterbau-Stoppschicht 105, welche als Politur oder Ätzstopp verwendet werden kann und beispielsweise aus Nitrid besteht. Oberhalb der Unterbau-Stoppschicht 105 kann optional eine Hartmaskenschicht 106 vorgesehen werden, welche  
35 aus Tetra-Ethyl-Ortho-Silikat (TEOS) oder anderen Materialien, wie zum Beispiel Bor-Silikat-Glas (BSG) bestehen kann. Zusätzlich kann eine Antireflektionsbeschichtung (ARC) ver-

wendet werden, um die lithographische Auflösung zu verbessern.

Die Hartmaskenschicht 106 wird unter Verwendung üblicher photolithographischer Techniken strukturiert, um einen Bereich 102 zu definieren, in dem Graben 108 zu bilden ist. Anschließend wird die Hartmaskenschicht 106 als Ätzmaske für einen reaktiven Ionenätzschritt verwendet, der den tiefen Graben 108 bildet.

10

In dem Graben 108 wird eine natürliche Oxidschicht gebildet, die in späteren Ätzschritten als Ätzstopp dient. Anschließend wird der Graben mit einer Isolationskragen-Opferschicht 152 gefüllt, die eine ausreichende Temperaturstabilität bis 1100°

15

C gewährleistet und selektiv gegenüber Nitrid und/oder Oxid entfernbar ist, wie zum Beispiel Polysilizium, amorphes Silizium oder andere geeignete Materialien. In dieser Prozeßvariante besteht die Isolationskragen-Opferschicht 152 aus Polysilizium. Die Polysilizium-Opferschicht wird bis zur Unterseite des zu bildenden Isolationskragens 168 in den Graben 108 eingesenkt. Das Entfernen der Opferschicht kann zum Beispiel durch Planarisieren mit chemisch-mechanischen Polieren (CMP) oder chemischem Trockenätzen (CDE) oder einem selektiven Ionenätzen durchgeführt werden. Anschließend wird durch

20

selektives Ionenätzen die Isolationskragen-Opferschicht 152 in den Graben 108 eingesenkt. Die Verwendung einer chemischen Trockenätzung zum Einsenken der Isolationskragen-Opferschicht in den Graben 108 ist ebenfalls möglich.

25

Anschließend wird eine dielektrische Schicht auf den Wafer abgeschieden, welche den Schichtstapel und die Seitenwände des Grabens 108 in seinem oberen Bereich 109 bedeckt. Die dielektrische Schicht wird zur Bildung des Isolationskragens 168 verwendet und besteht beispielsweise aus Oxid. Anschließend wird die dielektrische Schicht beispielsweise durch reaktives Ionenätzen (RIE) oder mit CDE geätzt, um den Isolationskragen 168 zu bilden. Die chemischen Mittel für das reaktive

35

tive Ionenätzen werden derart gewählt, daß das Oxid des Isolationskragens 168 selektiv gegenüber dem Polysilizium der Isolationskragen-Opferschicht 152 und dem Nitrid der Hartmaschenschicht 106 geätzt wird.

5

Anschließend wird die Isolationskragen-Opferschicht 152 aus dem unteren Bereich des Grabens 108 entfernt. Dies wird vorzugsweise durch CDE-Ätzung erreicht, wobei die dünne natürliche Oxidschicht als CDE-Ätzstopp dient. Alternativermaßen

10

kann eine Naßätzung, beispielsweise unter Verwendung KOH oder HF-NHO<sub>3</sub> und CH<sub>3</sub>OOH Mischung ebenfalls beim Entfernen der Isolationskragen-Opferschicht 152 verwendet werden. Nach Entfernung der Isolationskragen-Opferschicht 152 wird die dünne natürliche Oxidschicht mittels Ätzdampf entfernt und eine ver-

15

grabene Platte 165 mit n-Typ Dotierstoff, wie zum Beispiel Arsen oder Phosphor als äußere Kondensatorelektrode gebildet. Der Isolationskragen 168 dient dabei als Dotiermaske, welche die Dotierung auf den unteren Bereich 111 des Grabens 108 beschränkt. Zur Bildung der vergrabenen Platte 165 kann eine

20

Gasphasendotierung, eine Plasmadotierung oder eine Plasmaimmersionenimplantation (PII) verwendet werden. Diese Techniken sind beispielsweise im Ransom et al., J. Electrochemical. SOC, Band 141, Nr. 5 (1994), S. 1378 ff.; US-Patent 5,344,381 und US-Patent 4,937,205 beschrieben. Eine Ionenim-

25

plantation unter Verwendung des Isolationskragens 168 als Dotiermaske ist ebenfalls möglich. Alternativermaßen kann die vergrabene Platte 165 unter Verwendung eines dotierten Silikatglases, wie zum Beispiel ASG, als Dotierstoffquelle, gebildet werden. Diese Variante ist beispielsweise in Becker et

30

al., J. Electrochemical. SOC., Band 136 (1989), S. 3033 ff. beschrieben. Wird dotiertes Silikatglas zur Dotierung verwendet, so wird es nach der Bildung der vergrabenen Platte 165 entfernt.

35

Mit Bezug auf Figur 6 wird eine dielektrische Schicht 164 gebildet, welche aus Wolframoxid besteht. Zur Bildung der Wolframoxidschicht kann zum Beispiel eine Wolframschicht abge-

schieden werden, die anschließend oxidiert wird. Zur Abscheidung der Wolframschicht wird zum Beispiel eine selektive Wolframabscheidung verwendet, welche eine Wolframkeimschicht in dem unteren Bereich 111 des Grabens 108 auf den freigelegten Siliziumflächen bildet. Die Wolframkeimschicht kann zum Beispiel mit einem CVD-Prozeß gebildet werden, der  $WF_6 + SiH_4$  bei 500 Pa und 470° C aufwächst. Die Wolframkeimschicht bildet sich selektiv auf den freigelegten Siliziumoberflächen. In einem zweiten Schritt wird die Wolframvolumenschicht aufgewachsen, die mit einem CVD-Prozeß mit den Ausgangssubstanzen  $WF_6 + H_2$  bei  $10^4$  Pa und 470° C gebildet wird. Die Wolframvolumenschicht wird dabei selektiv auf der Wolframkeimschicht gebildet. Bei einem anschließenden Oxidationsprozeß wird die gebildete Wolframschicht oxidiert und es entsteht eine Wolframoxidschicht, welche die dielektrische Schicht 164 darstellt.

In dem anschließenden Prozeßschritt wird die leitende Grabenfüllung 161 gebildet. Dazu wird zum Beispiel mit einem CVD-Verfahren ein dotiertes, amorphes Silizium in den Graben 108 und auf die Substratoberfläche abgeschieden. Die leitende Grabenfüllung 161 kann auch aus Wolfram, Wolframnitrid oder Wolframsilizid gebildet werden. Wird die leitende Grabenfüllung 161 aus Wolfram gebildet, so kann ein CVD-Prozeß mit den Ausgangsstoffen  $WF_6 + H_2$  bei  $10^4$  Pa und 470° C verwendet werden. Zur Herstellung der leitenden Grabenfüllung 161 aus Wolframnitrid kann zum Beispiel eine Wolframschicht mit dem oben genannten Verfahren erzeugt werden, die anschließend thermisch nitridiert wird. Hierbei ist auch die abwechselnd schrittweise Abscheidung dünner Wolframschichten und Nitridierung dieser dünnen Wolframschichten möglich, bis die gesamte leitende Grabenfüllung 161 aus Wolframnitrid gebildet ist. Alternativ ist die Bildung von Wolframnitrid mit einem CVD-Wolframnitridverfahren möglich, welches aus  $4 WF_6 + N_2 + 12 H_2$  das gewünschte  $4 W_2N + 24 (HF)$  bei 350° bis 400° C bildet. Wird die leitende Grabenfüllung 161 aus Wolframsilizid gebil-

det, so kann ein CVD-Verfahren mit den Ausgangsstoffen  $WF_6$  +  $SiH_2Cl_2$  verwendet werden.

Mit Bezug auf Figur 7 wird das Verfahren zur Herstellung eines Grabenkondensators gemäß Figur 3 beschrieben. Dazu werden die Prozeßschritte wie sie in Zusammenhang mit Figur 5 erläutert worden sind, durchgeführt. Im Anschluß an das in Figur 5 gezeigte Prozeßstadium wird die dielektrische Schicht 164 aus Wolframoxid gebildet. Im Unterschied zu dem in Figur 6 gezeigten Herstellungsverfahren wird in Figur 7 die dielektrische Schicht nicht nur in dem unteren Bereich 111 des Grabens 108 gebildet, sondern auch in dem oberen Bereich 109 des Grabens 108, in dem sich der Isolationskragen 168 befindet. Zur Bildung der Wolframoxidschicht kann zum Beispiel eine Wolframschicht abgeschieden werden, die anschließend oxidiert wird. Zur Bildung der Wolframschicht wird in diesem Fall keine selektive Wolframabscheidung verwendet, sondern zum Beispiel ein CVD-Wolframabscheidungsprozeß, der die Ausgangsstoffe  $WF_6$  +  $H_2$  bei  $470^\circ C$  und  $10^4 Pa$  zur Bildung einer Wolframschicht verwendet. Bei einem anschließenden Oxidationsprozeß wird die gebildete Wolframschicht oxidiert und es entsteht eine Wolframoxidschicht, welche die dielektrische Schicht 164 bildet.

In dem anschließenden Prozeßschritt wird die leitenden Grabenfüllung 161 gebildet, wie es in Zusammenhang mit Figur 6 bereits beschrieben wurde.

Mit Figur 8 wird ein Verfahren zur Herstellung eines Grabenkondensators gemäß Figur 3 dargestellt. Anschließend an das Prozeßstadium aus Figur 5 wird zunächst eine Barrierenschicht 167 in dem Graben 108 gebildet. Die Barrierenschicht 167 besteht zum Beispiel aus Wolframnitrid. Zur Bildung der Barrierenschicht 167 aus Wolframnitrid kann zum Beispiel eine Wolframschicht in dem Graben 108 abgeschieden werden, die anschließend nitridiert wird. Zur Abscheidung einer Wolframschicht eignen sich die oben genannten CVD-



Wolframabscheidungsprozesse. Die abgeschiedene Wolframschicht wird in einem weiteren Prozeßschritt unter Stickstoffatmosphäre nitridiert. Eine weitere Methode, eine Wolframnitridschicht zu erzeugen besteht in der direkten CVD-Abscheidung einer Wolframnitridschicht. Dazu kann zum Beispiel ein CVD-Verfahren mit den Ausgangsmaterialien  $4 \text{ WF}_6 + \text{N}_2 + 12 \text{ H}_2$  bei einer Temperatur von  $350^\circ$  bis  $400^\circ \text{ C}$  verwendet werden. Die Schichtdicke der so erzeugten Wolframnitridschicht kann in einem Bereich von wenigen Nanometern bis hin zu mehreren Mikrometern erzeugt werden. In dem anschließenden Prozeßschritt wird die dielektrische Schicht 164 aus Wolframoxid gebildet. Dazu wird eine Wolframschicht mit einem CVD-Verfahren abgeschieden und in einem anschließenden Oxidationsprozeß in Wolframoxid verwandelt. Eine weitere Methode, die Barrierenschicht 167 und die dielektrische Schicht 164 herzustellen, besteht in der Abscheidung einer Wolframschicht mit Hilfe eines CVD-Wolframabscheideverfahrens. Anschließend wird die Wolframschicht thermisch nitridiert, so daß sich die Barrierenschicht 167 bildet. In einem weiteren thermischen Prozeß wird die gebildete Barrierenschicht 167 oxidiert, so daß ein Teil der Barrierenschicht 167 in die dielektrische Schicht 164, welche aus Wolframoxid besteht, umgewandelt wird. Die leitende Grabenfüllung 161 wird wie in Zusammenhang mit Figur 6 beschrieben gebildet.

Eine Verfahrensvariante, bei der die Barrierenschicht aus einem leitenden Material gebildet wird, wird nun anhand von Figur 3a beschrieben. Nach der Einsenkung der leitenden Grabenfüllung 161, der dielektrischen Schicht 164 und der Barrierenschicht 167 in den Graben 108 wird eine thermische Oxidation durchgeführt. Dabei wird das leitende Material, aus dem die Barrierenschicht 167 besteht, lokal an seiner freigelegten Oberfläche oxidiert, so daß die isolierende Oxidbereich 167' entsteht. Als Materialien für die leitende Barriere können zum Beispiel Wolframnitrid, Titannitrid und/oder Tantalnitrid verwendet werden, die mit der Oxidation in Wolframoxid, Titanoxid bzw. Tantaloxid umgewandelt werden. Da auch die

leitende Grabenfüllung 161 an ihrer Oberfläche oxidiert, wird diese Oxidschicht mittels gepufferter HF oder verdünnter HF selektiv zu dem Oxidbereich 167' entfernt.

5. Ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in Figur 9 dargestellt. In dieser Anordnung befindet sich zwischen der dielektrischen Schicht 164 und der leitenden Grabenfüllung 161 eine weitere Barrierenschicht 167''. Die weitere Barrierenschicht 167'' bildet eine kontrollierte Grenzfläche zwischen der dielektrischen Schicht 164 und der leitenden Grabenfüllung 161, wodurch die Bildung von kleinen Löchern (wormholes) in der Grenzfläche verhindert wird. Darüber hinaus wird die effektive Dielektrizitätskonstante des Grabenkondensators vergrößert, da die weitere Barrierenschicht 167'' wohldefiniert und kontrollierte ausgebildet wird. Zusätzlich verhindert die weitere Barrierenschicht 167'' die Diffusion von Material und damit die Vermischung von leitender Grabenfüllung 161 und dielektrischer Schicht 164. Die weitere Barrierenschicht 167'' kann beispielsweise aus Siliziumnitrid, Siliziumoxid oder Siliziumoxynitrid gebildet werden. Darüber hinaus können auch leitende Materialien wie Wolframnitrid und/oder Titannitrid zur Bildung der weiteren Barrierenschicht 167'' verwendet werden.
25. Ein Verfahren zur Herstellung der weiteren Barrierenschicht 167'' bildet die weitere Barrierenschicht nach der Bildung der dielektrischen Schicht 164. Dazu wird in einem CVD-Prozeß beispielsweise eine Siliziumschicht abgeschieden und reoxidiert und/oder renitridiert. Eine andere Verfahrensvariante sieht die CVD-Abscheidung einer Metallschicht aus Titan, oder Wolfram vor. Anschließend wird die Metallschicht mit einem Temperaturschritt in stickstoffhaltiger Atmosphäre nitridiert.

## Patentansprüche

## 1. Grabenkondensator:

- 5 - mit einem Graben (108), der in einem Substrat (101) gebildet ist und einen oberen Bereich (109) und einen unteren Bereich (111) aufweist;
- mit einem Isolationskragen (168), der in dem oberen Bereich (109) des Grabens (108) gebildet ist;
- 10 - mit einer vergrabenen <sup>Wanne</sup> (170), die in dem Substrat (101) gebildet ist und <sup>die von dem</sup> ~~die von dem~~ unteren Bereich (111) des Grabens (108) zumindest teilweise <sup>aussetzt</sup> ~~durchsetzt~~ ist;
- mit einer dielektrischen Schicht (164) als Kondensatordielektrikum, zur Verkleidung des unteren Bereichs (111) des Grabens (108) und
- 15 - mit einer leitenden Grabenfüllung (161), welche in den Graben (108) gefüllt ist,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die dielektrische Schicht (164) aus Wolframoxid gebildet ist.

20

2. Grabenkondensator nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die leitende Grabenfüllung (161) aus einem wolframhaltigen Material besteht.

25

3. Grabenkondensator nach einem der Ansprüche 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß die dielektrische Schicht (164) ein  $\epsilon_r > 50$  aufweist.

30 4. Grabenkondensator nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß eine Barrierenschicht (167) zwischen der dielektrischen Schicht (164) und dem Substrat (101) angeordnet ist.

35 5. Grabenkondensator nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
dadurch gekennzeichnet,

daß eine weitere Barrierenschicht (167'') zwischen der dielektrischen Schicht (164) und der leitenden Grabenfüllung (161) angeordnet ist.

5

6. Grabenkondensator nach einem der Ansprüche 4 oder 5, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß die Barrierenschicht (167) und/oder die weitere Barrierenschicht (167'') aus Siliziumoxid, Siliziumnitrid, Oxynitrid, Wolframnitrid, Titannitrid oder Tantalnitrid gebildet ist.

10

7. Grabenkondensator nach einem der Ansprüche 1 bis 6, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß in dem Graben (108) ein vertikaler Transistor (220) angeordnet ist.

15

8. Verfahren zur Herstellung eines Grabenkondensators mit den Schritten:

20

- Einbringen einer Wanne (170) in ein Substrat (101);
- Bilden eines Grabens (108) bestehend aus einem oberen Bereich (109) und einem unteren Bereich (111) in dem Substrat (101);
- Bilden eines Isolationskragens (168) in dem oberen Bereich (109) des Grabens (108);
- Bilden einer dielektrischen Schicht (164) als Kondensator-dielektrikum zur Verkleidung des unteren Bereichs (111) des Grabens (108) und
- Füllen des Grabens (108) mit einer leitenden Grabenfüllung (161) als innere Kondensatorelektrode,

30

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß die dielektrische Schicht (164) aus Wolframoxid gebildet wird.

35

9. Verfahren nach Anspruch 8 , d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

daß die dielektrische Schicht (164) durch Oxidation einer wolframhaltigen Schicht (169) gebildet wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 oder 9,  
5 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
daß die wolframhaltige Schicht (169) aus Wolframnitrid, Wolframsilizid oder reinem Wolfram gebildet wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10,  
10 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
daß die Oxidation der wolframhaltigen Schicht (169) bei Temperaturen zwischen 200° C und 600° C in O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>O oder NO-haltiger Atmosphäre durchgeführt wird.
12. Verfahren nach Anspruch 8,  
15 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
daß die dielektrische Schicht (164) durch reaktives Aufstäuben von Wolfram in sauerstoffhaltiger Atmosphäre gebildet wird.
- 20 13. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 12,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
daß die dielektrische Schicht (164) mit einer Dielektrizitätskonstante  $\epsilon_r > 50$  gebildet wird.
- 25 14. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 13,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
daß die dielektrische Schicht (164) bei Temperaturen zwischen 550° C und 1100° C einer Wärmebehandlung unterzogen wird, so  
30 daß die dielektrische Schicht (164) eine Dielektrizitätskonstante  $\epsilon_r > 50$  erhält.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 14,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,  
35 daß die leitende Grabenfüllung (161) aus einem wolframhaltigen Material gebildet wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11 und 13 bis 15,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß zur Bildung der wolframhaltigen Schicht (169) ein selek-  
tives CVD-Verfahren mit Wolframhexafluorid als eines der  
5 Ausgangsmaterialien bei 200° bis 400° C durchgeführt wird.

## Zusammenfassung

Grabenkondensator zur Ladungsspeicherung und Verfahren zu seiner Herstellung

5

Die vorliegende Erfindung umfaßt einen Grabenkondensator (160) zur Verwendung in einer Halbleiter-Speicherzelle (100). Der Grabenkondensator (160) ist in einem Substrat (101) gebildet und besteht aus einem Graben (108) mit einem oberen Bereich (109) und einem unteren Bereich (111); einem Isolationskragen (168), der in dem oberen Bereich (109) des Grabens (108) gebildet ist; einer vergrabenen Wanne (170), die von dem unterem Bereich (111) des Grabens (108) durchsetzt ist; einer dielektrische Schicht (164) als Kondensator-

10

Dielektrikum, die aus Wolframoxid gebildet ist; einer leitenden Grabenfüllung (161), welche in den Graben (108) gefüllt ist und aus Silizium oder einem wolframhaltigen Material wie Wolfram, Wolframsilizid oder Wolframnitrid gebildet ist.

15

20 Figur 1

## Bezugszeichenliste

	100	Speicherzelle	
	101	Substrat	
5	102	Grenzflächenschicht	
	104	Unterbau-Oxidschicht	
	105	Unterbau-Stoppschicht	
	106	Hartmaskenschicht	
	107	Unterbaustapel	
10	108	Graben	
	109	oberer Bereich des Grabens	
	110	Transistor	
	111	unterer Bereich des Grabens	
	112	Gate	
15	113	Drain-Gebiet	
	114	Source-Gebiet	
	115	untere Begrenzung des Source-Gebiets	114
	117	Kanal des Transistors	
	120	Wortleitung	
20	120`	passierende Wortleitung	
	125	Kondensatordiffusionsbereich	
	151	natürliche Oxidschicht	
	152	Isolationskragen-Opferschicht	
	160	Grabenkondensator	
25	161	leitende Grabenfüllung als innere Kondensatorelektrode	
	162	leitende vergrabene Brücke	
	164	dielektrische Schicht	
	165	vergrabene Platte	
	166	leitendes Material	
30	167	Barrierenschicht	
	167`	Oxidbereich	
	167``	weitere Barrierenschicht	
	168	Isolationskragen	
	169	wolframhaltige Schicht	
35	170	vergrabene Wanne	
	180	Isolationsgraben (STI)	
	181	Isolationsbereich der Isolationsgraben	



- 182 Unterkante
- 183 randloser Kontakt zur Bitleitung
- 185 Bitleitung
- 189 dielektrische Schicht
- 5 200 erste Grenzfläche
- 201 zweite Grenzfläche
- 220 vertikaler Transistor
- 250 vergrabener Kontakt
- 251 ungenutzter vergrabener Kontakt
- 10 310 leitende Schicht als äußere Kondensatorelektrode
- 311 oberer Bereich der leitenden Schicht 310
- 320 vergrabener Isolationssteg
- 321 isolierende Schicht
- 330 vergrabene Opferschicht
- 15 340 Isolationsschicht
- 350 Source-Drain-Gebiet
- 360 Gate-Oxid
- 370 Gate-Material
- 400 Substratoberfläche
- 20 410 seitlicher Isolationssteg
- 420 leitende Kontaktschicht
- 430 Grabendeckeldielektrikum
- 435 Isolationsgrabenverkleidung
- 436 Isolationsgrabenzwischenschicht
- 25 440 Isolationsgrabenfüllung
- 445 Opfer-Gate-Oxid
- 500 Grabenfüllungsbreite
- 501 Bereich des Grabens
- 510 Antirefleksionsbeschichtung
- 30 520 Photolackschicht

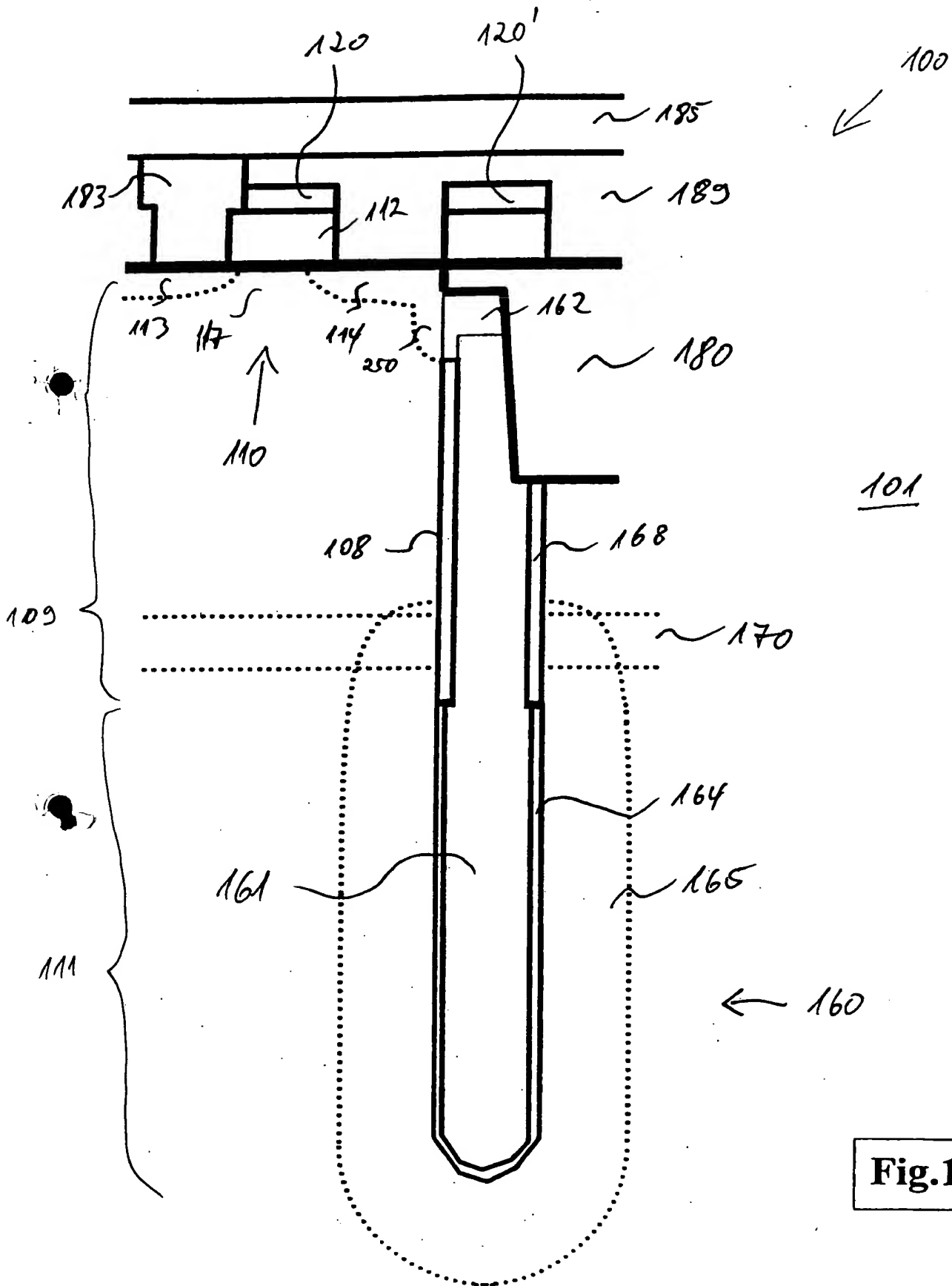
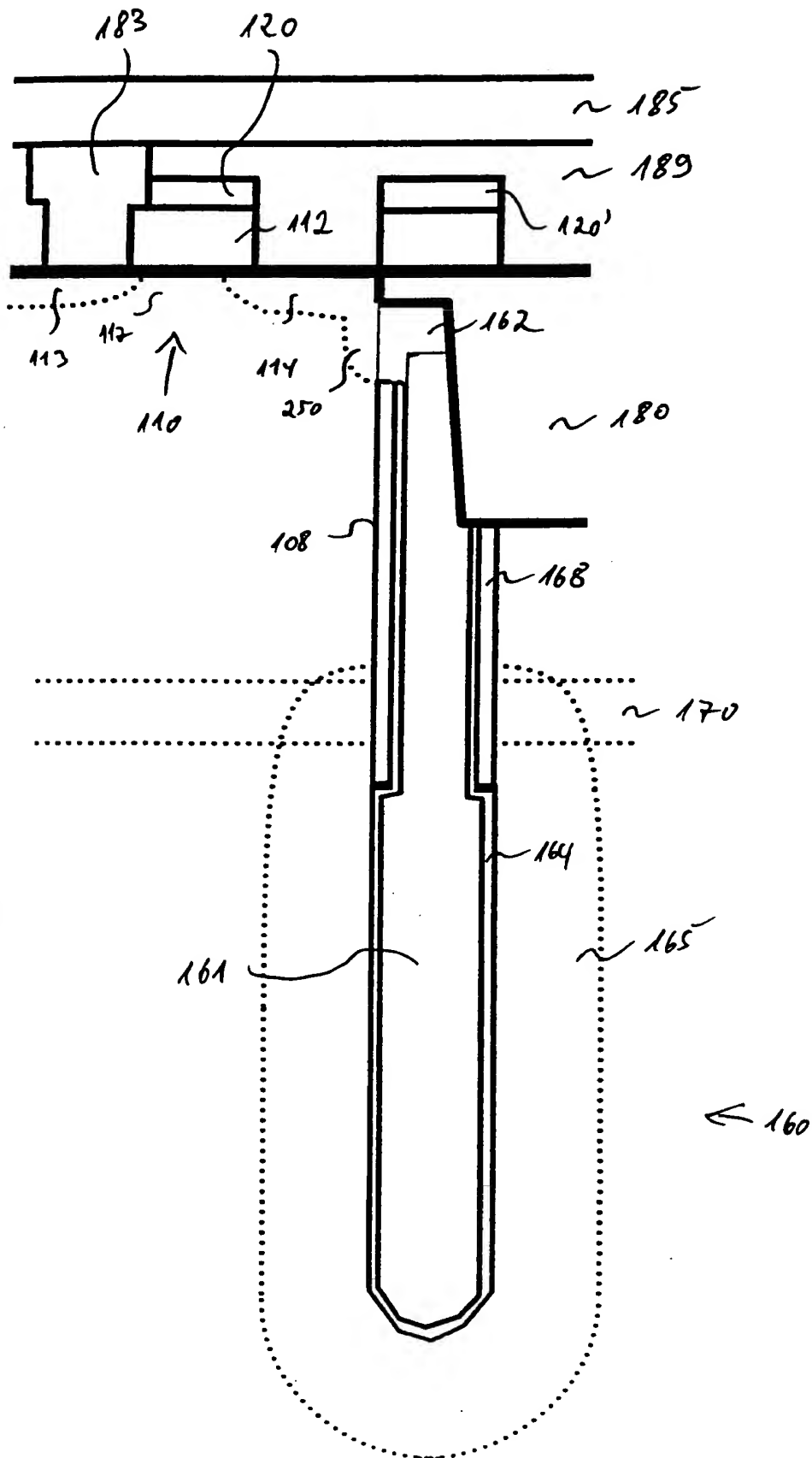


Fig.1



**Fig. 2**

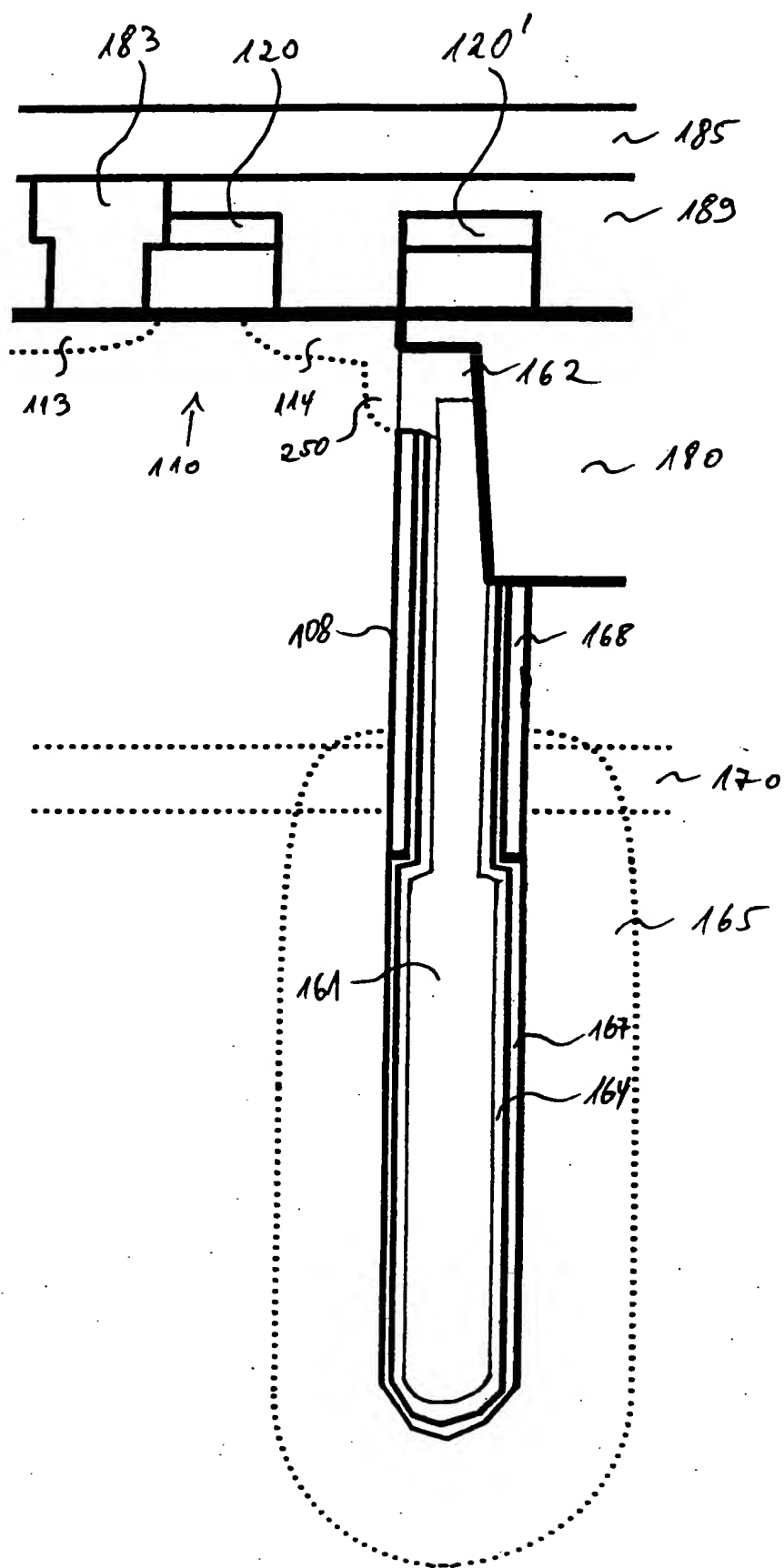
101

Fig. 3



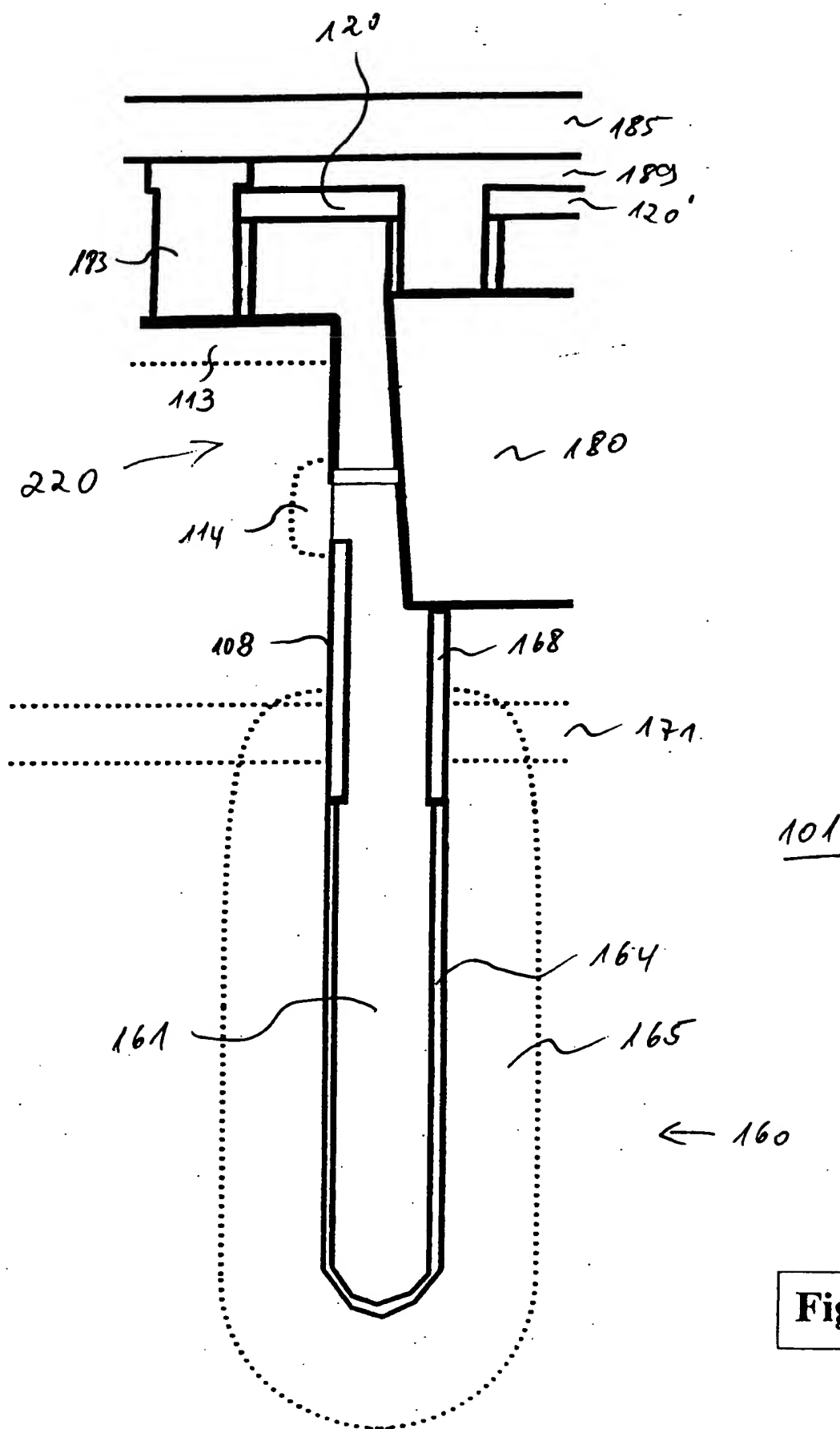


Fig. 4

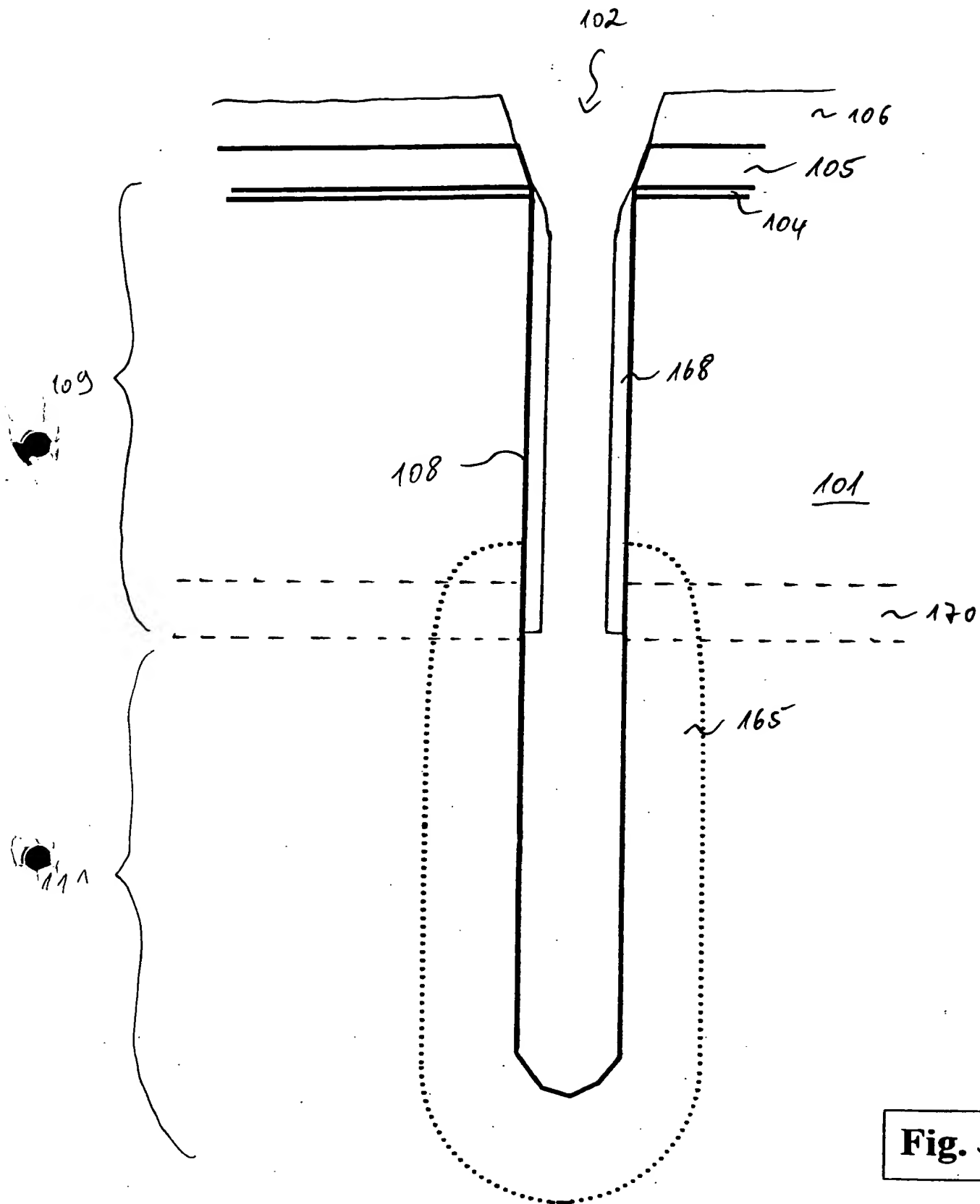


Fig. 5

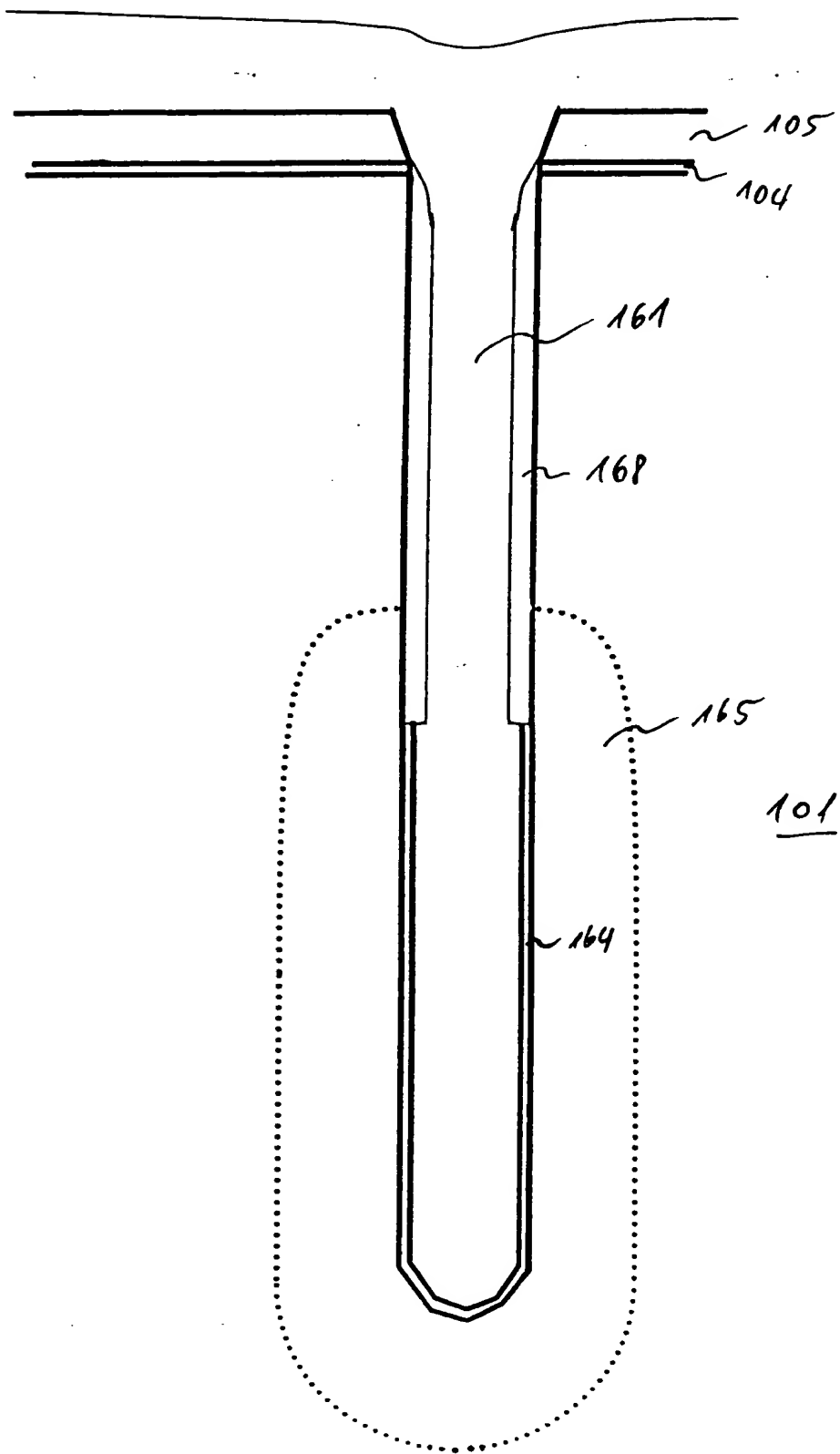
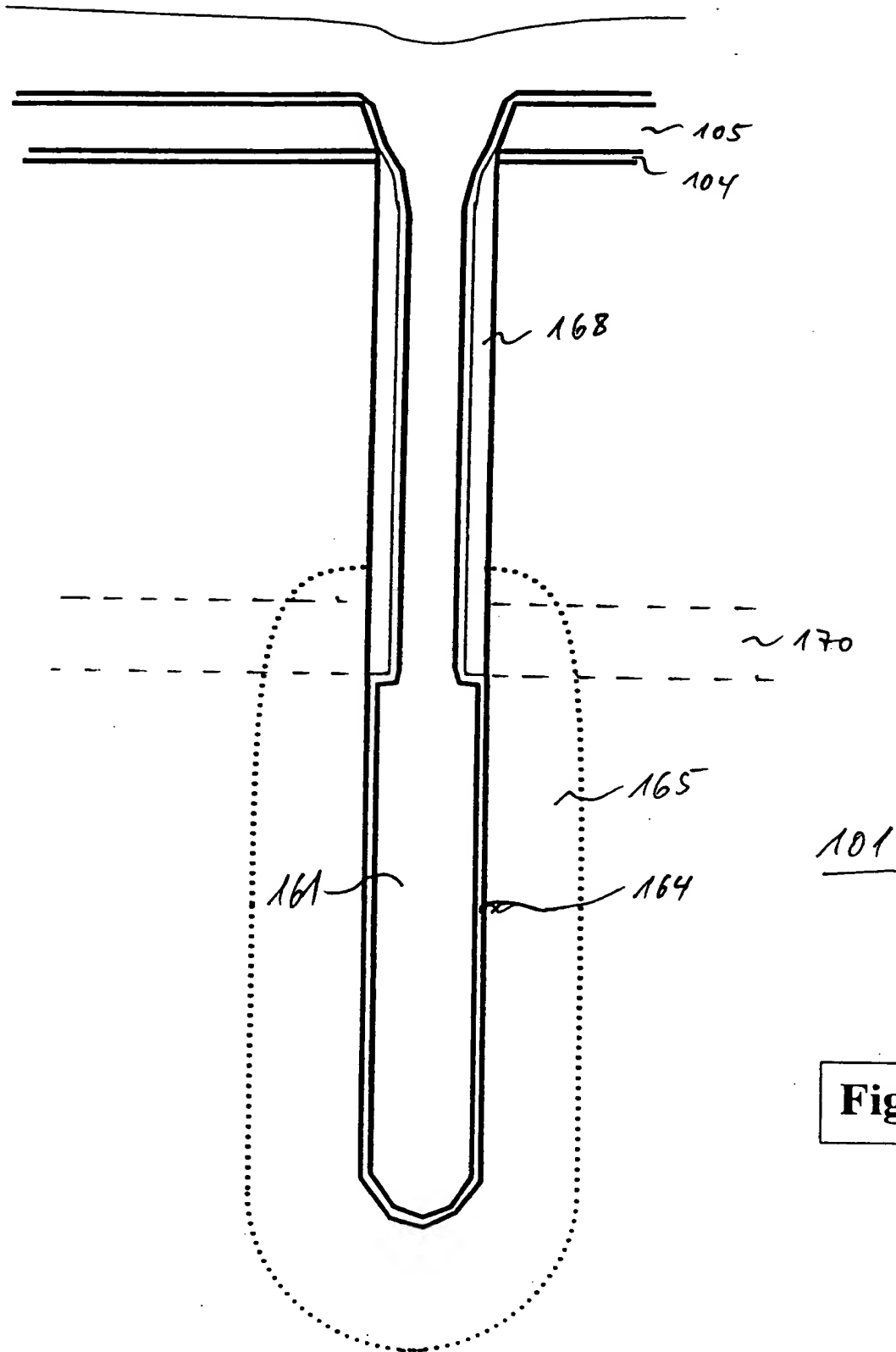
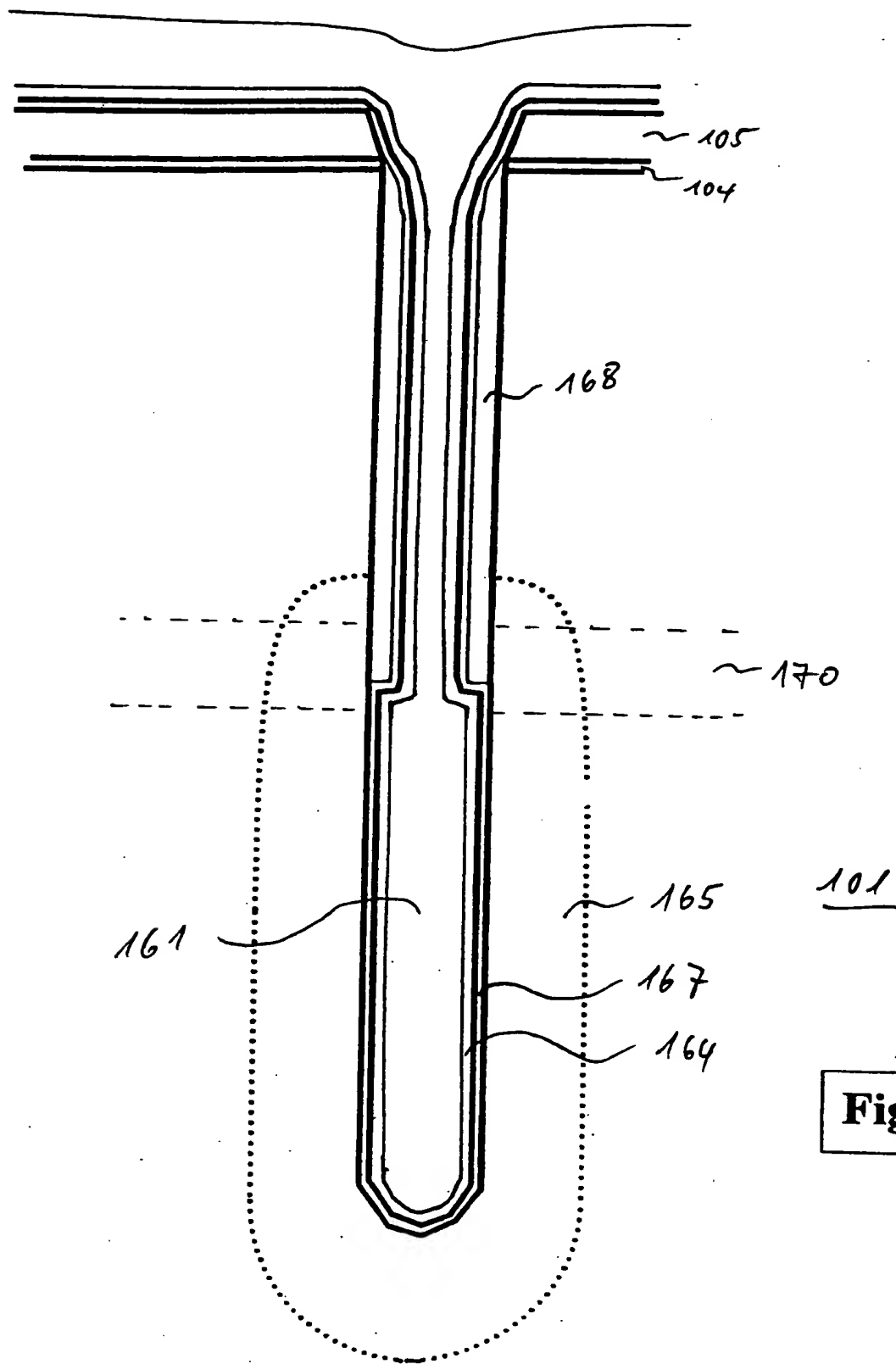


Fig. 6





**Fig. 7**



**Fig. 8**

10/10

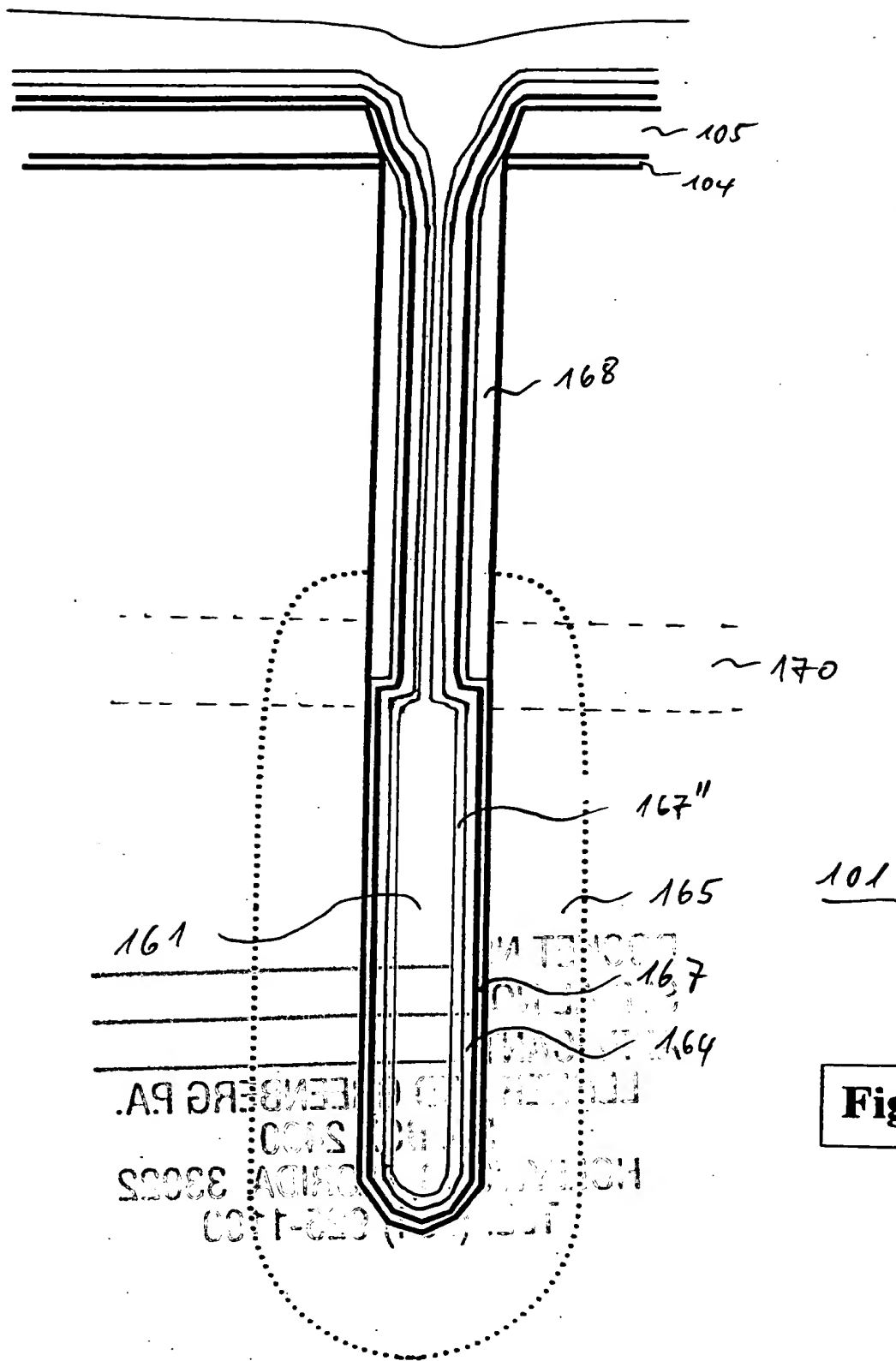


Fig. 9